引張又は曲げに依り熔接部に生ずる應力の分布 (偏光弾性学実験)⁽¹⁾

(昭和 11 年 4 月 5 日 第 3 回工学会大会講演會に於て講演)

正員 山ノ内 弘⁽²⁾

准員 藤原 正彦⁽³⁾

准員 酒澤 誠一郎⁽⁴⁾

1. 緒 言

各種構造物並に機械の接手部に電気熔接、酸素アセチレン及び水素ガス熔等の應用に依る接手法が廣く用ひられ、殊に電気熔接として電弧熔接、抵抗熔接、原子水素熔接等の近年における普及發達は諸産業を革新した事は顯著なものである。相當に大なる振れ、曲げ並に種々の動荷重を受ける所にも適用されるに至つた。これ等の熔接々手を従来の銲接手と比較して有利なる点は尙多く討論され又吟味すべき問題であると共に熔接部の各種性質の研究も大切である。熔接々手の強さの確保に関しては種々の要素が関係し、普及發達の最も顯著な金属電弧熔接における主たる要素は熔接材料、熔接々手の型式、熱の影響、熔接技術の巧拙、熔接機の電氣的及び機械的諸施設等である。

熔接々手の型式を定めて完全に設計するためには各種型式の熔接々手における熔接に依る内部應力並に外力に依る應力の分布状態を明かにする必要がある、殊に組合應力及び動荷重に依る應力に就ては研究すべき要点が尠くない。又今日の熔接技術を以てしても熔接部の曲應力への抵抗は低いのである。

熔接々手における熔接材と母材との不連続的性質は外力に依る應力の分布を力学的に見出す事を困難ならしめてゐる。併し若し同じ物理的性質を有する材料が用ひられ且その熔着部が完全であると仮定されるならば、その形状の上から光弾性学実験で大部の知識を求め得る。但しこの仮定の下に得る実験値は実際の接手に生ずる應力よりも小なるものが得られ勝である。

熔接々手の應力分布の光弾性学実験は既に数氏の論文で発表されておるが、これ等の試験片は外形を目的の熔接々手と同じくして唯重り合ふ所を切離しておる(第1図 A 及び B 参照)。著者の執つた実験に於ては熔接部の不連続的性質を多少なりとも実験上に表さんため、熔着材と母材とに相當する部分を別箇にセルロイドにて作り、各片をアセトン劑にて溶解的に密着接合せしめた。用ひたアセトン劑即ちフィルムセメントは (A) スキンパッチ 15%, アセトン 70%, 氷醋酸 15%, 樟腦少量、(B) アセトン 70%, 氷醋酸 15%, アミルアルコール 15% の 2 種であつたが孰れも引張試験に於て殆ど相等しき結合強を示し、且熔着面よりもセルロイドの部

分にて破壊された程強き結合を得た。更に熔着材の部分に母材の部分として用ひたセルロイド材よりも硬又は軟質のものを用ふれば一層實際に近きものが得らるゝ譯合なるが相當に厚くして各種種のセルロイド材を得難かつたので止を得ず同一材料を用ひた。又フェノーライト及びペークライトを用ひんと企てたが各片を密着接合すべき接合劑を得なかつた故遺憾ながら中止した。

実験には主要なる型式の接手 36 種の試験片を作り、引張力、剪断力及び曲力を加へて約 80 種の實驗を行つて應力分布を求め、それ等の實驗値 ($\sigma_1 - \sigma_2$) と不連続的性質のないものと仮定しての計算値 ($\sigma_1 - \sigma_2$) とを比較した。

2. 実 験

試験片は厚 4.67 mm の独逸製セルロイド⁽⁵⁾を用ひ、その種類は第2図に示す如く、試験片第1号は 45° 斜衝合接手、第2号は 55° 斜衝合接手、第3号は 45° 斜衝合接手 (2 面接合)、第4号は V 型平盛衝合接手、第5号は V 型増肉盛衝合接手、第6号は第5号と同じ、但し接合面に疵を附して熔着具合を異らしめた。第7号は X 型増肉盛衝合接手、第8号は前面隅肉 (45°) 接手、第9号は前面隅肉 (30° と 60°) 接手、第10号は兩隅力重ね接手、第11号は片面重ね接手、第12号は兩面當金接手、第13号は直接重ね縁接手にして側面隅肉の場合にも相當する。第14, 15, 16 及び 17 号は角接手にして各接手面を異にしてある。第18号は外隅肉角接手、第19号は内隅肉角接手、第20号は兩面 T 接手にして隅角は 45°, 第21号も兩面 T 接手なるが隅肉の角を異にしてある。第22号は X 型平盛衝合接手にして第7号とその角が異なり、これは 120° にしてある。第23号は V 型平盛衝合接手にして第4号とその角が異なり、120° にしてある。第24, 25 及び 26 号は鎖用リンクにしてスタットのあるものとなきものであり、且接合面の有無に依り A と B とに分つた。第27~33号は 2 面衝合接手に於てその角を 90° (I 型) より 45° までにとつたもの、第34~36号は厚の相異なる板の衝合接手である。第17, 24, 25 及び 26 号を除いたその他の試験片に於て、A は引張力を、B は曲げを與へた場合である。

現在使用さるゝ各種接手は大略下記の如く分類されてをる。即ち (a) 接手の型式に依り i. 衝合熔接、ii. 重ね熔接、iii. T 熔接、iv. 當金熔接、v. 角熔接、vi. 縁熔接、vii. 孔熔接 (栓接ぎ)。 (b) 熔接の型式に依り i. 衝合熔接、ii. 隅肉熔接、iii. 孔熔接。 (c) 熔接母材の削れ方法に依り i. I 型熔接直

(1) Stress Distribution in the Welded Joints Subjected to Tension or Bending. (Measured by Photoelastic Method).

(2) Hiroshi YAMANOUTI, Member. The Waseda University. 早稲田大学

(3) Masahiko FUJIWARA, Associate Member. The Hitachi Iron Works. 日立製作所龜戸工場

(4) Seichirō SAKAZAWA, Associate Member. The Mitsubishi Syōzi Co. 三菱商事株式會社

(5) Sprengstoff A.G., Rhein. Westf.

接ぎ)、ii. V 型熔接 (V 接ぎ)、iii. X 型熔接 (X 接ぎ)、iv. U 型熔接、v. 両面 U 型、vi. 平双熔接、vii. 片双熔接 (單斜接ぎ)、viii. 兩双熔接 (複斜接ぎ)。(d) 熔接の連続性に依り i. 連続熔接、ii. 断続熔接、iii. 千鳥熔接。(e) 結合の目的より i. 耐久熔接、ii. 仮熔接、iii. 填隙熔接、iv. 混用熔接。(f) 熔接の強度に依り i. 凸熔接 (補強盛、増肉盛)、ii. 平熔接、iii. 輕熔接、vi. 凹熔接。

(g) 熔接面の表面仕上に依り i. 普通熔接、ii. 削熔接、にして、著者の実験は U 型を除いては殆ど各種接手を包含してをる。

3. 熔接部の應力の計算

熔接に関する研究の発達と共に熔接部の強さに就て攻究されつゝあるが、前述の如く不連続的性質の關係上今尙確としたものがない。熔接部の強さの計算方法としては次の假定が用ひられてをる。(1) 熔接部における最も危険なる箇所は熔着隅肉部の喉断面である

こと、(2) 熔接部の總ての断面に於ての應力は平均に分布してをること、(3) 側面隅肉熔接に於ては隅肉全長に亘つて剪断力が均一に分布してをること、接手に曲モーメントが起らざること、並に喉断面より破壊すること、等。併し剪断應力の分布に就ては既にホブガルド⁽⁶⁾の計算式の発表あり。又実験の結果から獨逸熔接協會にては 8 種の型式の接手に引張力に対する強さの効率を定めた、例へば V 型平盛熔接手 (第 4 号試験片) に於ては 60%、片面重ね接手 (第 11 号試験片) に於ては 42%、兩隅肉重ね接手 (第 10 号試験片) に於ては 84%、片面當金接手にて最大 42%、両面當金接手 (第 12 号試験片) にて最大 84%、V 型熔接の上両面當金した接手にて (60+42×2) % 等である。

然るに現行の熔接接手を除いては殆ど全部の接手が熔接部

に曲モーメントを受け、且不連続的面の附近には鋭角部が現れて一般計算法を困難ならしめてをる。実際に軟鋼試験片の熔接した 衝合接手の 曲実験に於て、破壊までの曲角度は V 型接手にて 30°~40°、X 型にて 90°~100° 位であり、母材よりも遙かに小である。これは熔着金属が鑄造組織を呈して伸性少く、應力が集中されて弾性限度を超えるとその脆

弱性を直ちに現すためである。又強さは熔接の技術に依つて左右されると同時に熔着金属の性質及び熔接金属と母材との化学成分の關係その他によつて母材よりも大或は小となる

から一概に論じ得ざることであり、従つてその標準化を必要とすると共に各種熔接々手における應力の分布を明かにする必要がある。本文に用ひた應力の計算式は曲げに対し $M = \sigma z$ 、曲げにおける剪断應力 $\tau = \frac{1}{2} S (\sigma_y^2 - \sigma_x^2) / I$ 、又縦方向への接手に作用する剪断力に依つて生ずる剪断應力はホブガルド式を適用し、得

たる各應力の強さから各点における主應力 σ_1 又は $\sigma_2 = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_y - \sigma_x)^2 + 4 \tau^2}$ を、並に $\sigma_1 - \sigma_2$ を求めた。

4. 各 論

(1) 斜衝合接手の場合、試験片 1~3 号

第 1 号試験片 (斜角 45°) の引張に於ては、熔接部附近に他の部分に比べて約 60% 強き應力が明かに現れた。曲げに於ては、A 及び B 点の如き熔接部の端に甚だ大なる應力が現れた。これ等を 1 本の棒としての計算値との比較は第 1 表に示す。第 2 号片 (斜角 55°) 並に第 3 号片に於ても第 1 号片と大体同一であり、皆第 1 表に示してある。

(2) V 型平盛熔接手 試験片第 4 号 (挟角 75°)

V 型増肉盛熔接手 試験片第 5 及び 6 号 (挟角 75°)

X 型増肉盛熔接手 試験片第 7 号 (挟角約 75°)

引張に於て、第 4 及び 6 号片は熔着材部に曲げを受けた結果となり、第 5 号片は母材の角の部分に大なる應力を生じ、

第 1 表 斜衝合接手の最大應力点の実験値と計算値との比較

試験片	力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比 (I)/(II)	参照図面	平均應力 (又は曲應力) kg/cm ²	主應力 kg/cm ²
第 1 号	(A) 引張	(CD)	34	21.3	1.6	第 3 図	21.3	21.3
	(B) 曲げ	A (B)	58 105.6	59.5 59.5	0.98 1.78	第 4, 5 図	(CD 面曲 應力 71.4)	59.5 59.5
第 2 号	(A) 引張	(CD)	34	21.3	1.6	第 3 図	21.3	21.3
	(B) 曲げ	A (B)	57 93.2	65.4 65.4	0.87 1.42	第 6, 7, 8 図	(CD 面曲 應力 73.5)	65.4 65.4
第 3 号	(A) 引張	(CD)	38	20.2	1.88	第 9 図	22.2	22.2
	(B) 曲げ	A (B)	62 95	60.5 76.2	1.02 1.25	第 10, 11, 12 図	(CD 面曲 應力 80.8)	60.5 76.2
		A'	74.4	76.2	0.98			76.2
		B'	44.5	60.5	0.73			60.5
							(CD 面 80.8)	60.5

実験値 (I) は應力測定点の熔着材及び母材中の強大なるものを取り ($\sigma_1 - \sigma_2$) の値である。

應力測定点中 () は最大應力点を意味す。

計算値 (II) は應力測定点における應力の計算値 ($\sigma_1 - \sigma_2$) である。

平均應力、主應力は應力測定点における計算値である。異なる点に就てのものは明示してある。

(以上は第 2 表以下同断)

第 2 表 V 及び X 型衝合接手の最大應力点の実験値と計算値との比較

試験片	力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比 (I)/(II)	参照図面	平均應力 (又は曲應力) kg/cm ²	主應力 kg/cm ²
第 4 号	(A) 引張	A, A'	27	21.5	1.26	第 13 図	21.5	21.5
	(B) 曲げ	(B), (B')	30	21.5	1.4		//	//
	(肉盛上側)	A, A'	57	50.2	1.14	第 14, 15 図	(CD 面	50.2
	(C) 曲げ	(B), (B')	67.5	68.0	0.95		71.6)	68.0
	(肉盛下側)	A, A'	57	50.2	1.14	第 16, 17, 18 図	(CD 面	50.2
第 5 号	(A) 引張	(B), (B')	61	68.0	0.90		71.6)	68.0
	(B) 曲げ	(B), (B')	27	21.0	1.29	第 19 図	21.0	D 点 25.8
	(肉盛上側)	(A), (A')	81	59.6	1.36	第 20, 21, 22 図	(CD 面	59.6
	(C) 曲げ	B, B'	61	60.0	1.06		61.8)	60.0
	(肉盛下側)	A, A'	58	59.6	0.98	第 23, 24, 25 図	(CD 面	59.6
第 6 号	(A) 引張	(B), (B')	81	6.00	1.35		61.8)	60.0
	(B) 曲げ	A, A'	19	21.1	0.9	第 26 図	21.1	D 点 25.8
	(肉盛上側)	(A), (A')	23	21.1	1.1			
	(C) 曲げ	B, B'	95	59.4	1.6	第 27, 28 図	(CD 面	59.4
	(肉盛下側)	A, A'	63.5	60.0	1.06		61.8)	60.0
第 7 号	(A) 引張	(B), (B')	65	59.4	1.09	第 29, 30 図		59.4
	(B) 曲げ	(B), (B')	67.5	60.0	1.12			60.0
	(A) 引張	A, C	27.0	21.0	1.29	第 31 図	21.0	18.3
	(B) 曲げ	A, C	70.0	62.2	1.13	第 32, 33 図	(EF 面	62.2
		(B), (D)	95.0	62.2	1.53		53.9)	62.2

(6) W. Hovgaard und E. Helly, Die Spannungsverteilung in Schweissungen, Z. für angew. Math. u. Mech., Bd. 11, Heft 5, 1931, S. 341. 並に Bd. 12, Heft 2, 1932, S. 128.

第7号片は熔接の部分に一樣に強く應力の分布を見る。増肉盛は引張に対しては大なる効果無きのみならず、却つて鋭角部を生じて母材に悪影響を及ぼす恐れがあることになる。

曲げに於て、荷重点を除いては接合部の両端に大なる應力

を生じ、増肉盛せ

るもの、鋭角部は

増肉盛の引張又は

圧縮側にあるとに

拘らず著しく應力

を増してをる(第

2表)。

(3) 前面隅肉(45°)

接手 第8号片

前面隅肉(30°

と60°) 接手

第9号片

引張に於て、第

3表に示す如くA

点には強い應力表れないが、

B点の母材及び熔着材に、又

C点の母材に甚だ大なる應力

を示してゐる。即ちB点は

殆ど計算値と一致し、C点の

母材の方は計算値に比し40%

も大なる應力を生じてゐる。

然し計算値及び実験値に於て

もB点が最も強い應力を現

してゐるから実際の前面隅肉

の場合に始めの行程が最も注

意さるべきである。又45°の

前面隅肉に比し30°のものが

多少應力低く現れる場合が多

い。

曲げに於て、B点に強い應

力を生ずることは勿論にして

更にE点にも同様に強い應

力を生ずる。30°の前面隅肉

の場合はC点に余り強い應

力は現れない。これはCD面

に作用する曲モーメント小な

るためと思はれる。

第8号片の(C)曲げの場合

にA点附近に強い應力を

生じたるは接合の具合に依る

ものと思はれる。

引張及び曲げの場合を通じてB点に最大應力を生ずること

とは、引張りに於ても曲げを生じてB点に應力の集中され

る結果であり、不利なる接手と言ひ得る。

(4) 両隅肉重ね接手 試験片第10号(隅肉45°)

引張及び曲げの場合を通じてC点の母材に甚だ大なる應

力を生じ(第4表参照)、次にD点の應力も大である。依つ

てこの場合には母材の熔接部附近より破壊されること推定し

得て、著者の鋼材を以て製作せし実際の熔接試験片の引張試

験に於てもこの部分より破壊されてをる。一般に重ね板接手

に於ては母材が引

張力の方向と一致

せんとして曲げを

受くる故、熔接部

に引張と曲げの應

力を生じ應力の集

中となる。これは

熔接部を主應力の

方向と一致せしむ

ることの避くべき

ことを示す好例で

あり、この接手は

従来の鉋又はボル

ト接手型式を熔接

に代へたるものにて熔接々手

としては適當なる設計とは思

はれない。

(5) 片面重ね接手 試験片第

11号(隅肉45°)

引張力の方向を変じて引張

つた場合と、隅肉の位置を変

じての曲げの場合を測定した

(第5表参照)。引張に於ては、

(D)を除き他の場合にはC

点の母材に大なる應力を現し、

曲げに於てはB及びC点

に大なる應力を示す。重ね合

す部分を長くしても何等の効

なく、又B点の如き角部は

熔接の施工も困難なる所とて

十分注意して熔接するを要

す。寧ろ前面隅肉接手の第8

又は9号片の接手型式となす

方が材料の節約ともなつて可

と思はれる。

(6) 両面當金接手 試験片第

12号(隅肉45°)

引張に於ては、B点におけ

る當金材及び熔着材に大なる

應力を生じ、曲げに於ては、

C点の母材に大なる應力を生

ずる。この結果引張に対しては當金及び熔着材を厚くし、曲

げに於ては當金薄くとも可である(第6表参照)。

(7) 直接重ね縁接手(側面隅肉の場合にも相當する) 試験片

第13号(AB面接合)

引張及び曲げに於てもA及びB点に大なる應力を生ず

第3表 前面隅肉接手中の最大應力点の実験値と計算値との比較

試験片	力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比 (I)/(II)	参照図面	平均應力 (又は曲應力) kg/cm ²	主應力 kg/cm ²
第8号	(A) 引張 (傾角 7°6')	B	92	89.1	1.03	第34図	BE面 20'2	92.4
		(C)	95	67.9	1.40			B点 86.2
		A	58	59.5	0.98			C点 59.5
		(B) 曲げ (隅肉上側)	108	79.7	1.36			79.7
		C	61	47.5	1.28			47.5
		E	94.5	79.7	1.18			79.7
	(C) 曲げ (隅肉下側)	A	93.5	59.5	1.57	第37, 38図	FG面 64'6	59.5
		(B)	116.0	90.7	1.28			90.7
		C	81.5	55.3	1.48			55.3
		E	81.0	90.7	0.89			90.7
	(A) 引張 (傾角 7°42')	(B)	97.5	102.3	0.96	第39図	BE面 27'6	103.4
		C	86.5	62.4	1.40			97.4
		(B) 曲げ (隅肉上側)	57.0	72.4	0.79			72.4
		(B)	122.0	78.5	1.56			78.5
		C	41.0	39.5	1.05	第40, 41図	FG面 78'1	39.5
		E	47.5	78.5	0.61			78.5
第9号	(C) 曲げ (隅肉下側)	A	74	73.5	1.01	第42, 43図		73.5
		(B)	95	90.0	1.05			90.0
		C	43	48.0	0.90			48.0
		E	92	90.0	1.02			90.0

第4表 両隅肉重ね接手
第10号試験片の最大應力点の應力の比較

力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比 (I)/(II)	参照図面	平均應力 kg/cm ²	最大主應力 kg/cm ²
(A) 引張 (合目に並行)	(C)	124.5	126.9	0.98	第44図	CD面 31'6	C点 126.9
	D	27.0	63.5	0.43			B点 66.8
(B) 引張 (傾角 7°6')	(C)	98.5	85.4	1.15	第45図	BC母材 15'8	C点 111.9
	D	16.5	23.4	0.71			B点 90.8
(C) 引張 (偏心にて)	(C)	111.0	122.0	0.91	第46図	CD面 31'6	C点 122.0
	D	72.0	68.6	1.05			E点 66.8
(D) 曲げ	(C)	92.0	81.5	1.13	第47, 48図		81.5
	D	51.5	81.5	0.63			81.5

第5表 片面重ね接手
第11号試験片の最大應力点の應力の比較

力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比 (I)/(II)	参照図面	平均應力 kg/cm ²	最大主應力 kg/cm ²
(A) 縁に並行 に引張	B	88	74.2	1.19	第49図	BE面 26'3	B点 78.6
	(C)	94.6	73	1.30			C点 77.6
(B) 斜め(6° 30')に引張	(B)	93.5	111.1	0.84	第50図	BE面 26'3	B点 113.4
	C	43.4	44.4	0.98			C点 44.5
(C) 母材に並 列に引張	B	82.6	31.6	2.62	第51図	BE面 26'3	B点 62.2
	(C)	178.0	125.9	1.41		CD面 18'2	C点 125.9
(D) 隅肉に偏 心に引張	(B)	95	125.4	0.76	第52図	BE面 17'6	B点 127
	C	40.5	12.9	3.34		BC面 12'4	C点 50.5
(E) 隅肉を下 側に引張	(C)	81	57.1	1.42	第53, 54図		C点 57.1
	(B)	103	112.4	0.92	第55, 56図		B点 112.4
	C	94.5	86.3	1.09			C点 86.3

第6表 両面當金接手
第12号試験片の最大應力点の應力の比較

力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比 (I)/(II)	参照図面	平均應力 kg/cm ²	最大主應力 kg/cm ²
(A) 引張	(B)	94.5	141.7	0.67	第57, 58図	BE面 50'0	B点 145
	C	76.0	36.1	2.10		BC面 36'1	C点 58.2
(B) 曲げ	C	91.0	83.8	1.09	第59, 60図		C及びC'点
	(C')	94.5	83.8	1.13			83.8

第7表 直接重ね接合手
試験片第13号の最大應力点の應力の比較

力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比較 (I)/(II)	参照図面	平均應力 kg/cm ²	最大主應力 kg/cm ²
(A) 接合面に 並行に引張	(A)	115	130	0.89	第62図	AB面13.2	A点128.0
(B) 斜め(7°) に引張	(B)	95	129.9	0.73	第63図	BB'面32.5	B点129.9
(C) 接合面に 偏心に引張	(A)	112.5	100.7	1.12	第64図	AA'面22.5	A点100.9
(D) 曲げ	(B)	95	104.6	0.91	第65, 66, 67図	BB'面32.5	B点104.7
		7.0	18.5	0.42		AA'面26.1	A点33.7
		177.0	188.5	0.94		BB'面26.0	B点188.5
		119.0	92.8	1.28			A及びB面
		122.0	92.8	1.32			92.8

第8表 角接合手試験片中の最大應力点の應力の比較

試験片	力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比較 (I)/(II)	参照図面
第14号	斜めに引張 (曲げ)	(A)	108.2	85.0	1.27	第68, 69図
		C	24.5	74.6	0.33	
第15号	斜めに引張 (曲げ)	(A)	113.6	85.0	1.33	第70, 71図
		C	69	74.6	0.93	
		D	49.4	61.2	0.78	
		E	51.4	50.8	1.01	
第16号	斜めに引張 (曲げ)	(A)	108.2	84.0	1.29	第72, 73図
第17号	直角に引張 (曲げ)	(A)	84	77.2	1.09	第74, 75, 76, 77, 78, 79図
		A'	55	77.2	0.71	

但し計算値は各点の最大主應力に相當する。

るのは共に鋭角なると、剪断を受ける面の端なるによる。引張の場合の計算値の実験値に比して大なるはホブガルド式により剪断應力の分布を算出せしめ剪断面比較的短くして理論的に分布されざる結果と考へらる (第7表参照)。

(8) 角接合手 試験片第14, 15, 16 及び 17 号

これ等の角接合手は接合面を異にしてあり、第14~16号片は隅角部に引張り及び曲げを受け、17号片はその部に曲げを受けてをる。これ等の角接合手はこの不連続面 (接合面) の位置に拘らず、常に隅角 A 及び A' 点に最大應力を生じてゐる。特に第17号片はその隅角部の接合不完全なため最大應力点が P 及び P' 点に移動した。これ等は隅角部附近に接合することの危険なることを示す。又第15号片に於て接合面に相當大なる應力の生じてをるは接合不良なためであり、その應力の強さが隅角部 A 点よりも小なるは一方に於て尙安全なることを示してをる。A 点における計算應力値は角部の集中應力を取扱はざりしに依つて実験値よりも小である (第8表参照)。

(9) 外隅肉角接合手 試験片第18号

内隅肉角接合手 試験片第19号

両試験片共に板を直角に熔接する場合であつて、第18号片は4kgの力に対してE点に109.5 kg/cm²の應力を生じてをるに反し第19号片は15kgの力に対してE点附近103 kg/cm²の應力を現してをることは、前者が不利なる接合手型式なるを示す。又両片共にB点又はC点の如き鋭角部に相當に大なる應力が集中されてをる (第9表参照)。

(10) 両面T接合手 試験片第20号 (隅肉45°), 第21号 (隅肉の形異なる)。

第20号片は従来に依る方法を示し、第21号片は殊に隅肉を母材によく熔着せしむる目的の新型を示す。引張に於ては、第20号片のA及びA'点が鋭角部の影響を受けて大なる

昭和11年8月]

第9表 隅肉角接合手試験片中の最大應力点の應力の比較

試験片	力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比較 (I)/(II)	参照図面
第18号	斜めに引張 (曲げ)	(B)	94.5	100.7	0.94	第80, 81図
		(E)	105.5	80.5	1.36	
第19号	斜めに引張 (曲げ)	(B)	102	113.9	0.90	第82, 83図
		C	81	113.9	0.71	

但し計算値は各点における主應力に相當する。

第10表 両面T接合手試験片の最大應力点の應力の比較

試験片	力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比較 (I)/(II)	参照図面
第20号	(A) 引張	A	88	42.1	2.09	第84, 85図
		(B)	108	105.5	1.02	
		A'	94.5	42.1	2.24	
		B'	81	105.5	0.77	
	(B) 曲げ	(A)	101	77.3	1.31	第86, 87図
第21号	(A) 引張	(BCの中点)	245	90.8	2.70	第88, 89, 90図
	(B) 曲げ	(E)	292	29.7	0.99	第91, 92, 93図

但し計算値は各面の引張應力及び曲げ應力に相當する。第21号片EH面の引張應力は134.5, 又AD面の曲げ應力は164 kg/cm²である。

第11表 大角のX及びV型衝合接合手試験片の最大應力点の應力の比較

試験片	力の種類	應力測定点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比較 (I)/(II)	参照図面
第22号	(A) 引張	A, B, C, D	166	133.2	1.25	第94図
		中央	158	133.2	1.19	
	(B) 曲げ	(A)	150	123.2	1.22	第95, 96図
		B, D	122	123.2	0.99	
		C	141	123.2	1.15	
第23号	(A) 引張	(A)	179	142.8	1.26	第97図
		B	145	142.8	1.02	
	(B) 曲げ	A, A'	122	112.2	1.09	第98, 99図
		(B', B')	141	222.1	0.64	
	(肉盛上側)	(C) 曲げ	122	112.2	1.09	第100, 101図
		(A, A')	207	222.1	0.93	
	(肉盛下側)	(B', B')				

但し計算値は引張には引張應力、曲げには其の点曲げ應力に相當する。第22号片のEF面の曲げ應力は173 kg/cm², 又第23号片のEF面は234.5 kg/cm²の曲げ應力となる。

應力を示し、B及びB'も亦同様である。第21号片の熔着材としてのBCGF部に應力が集中され、E及びH点にも相當に大なる應力を示してをる。

曲げに於ては、第20号片の圧縮側のA点に最大應力が現れ、他はA点に比して甚だ小である。第21号片の圧縮側のE点に最大應力を生じてをる (第10表参照)。

(11) X型平衝合接合手 試験片第22号 (挟角120°)

V型平衝合接合手 試験片第23号 (挟角120°)

熔着材の挟角大なる場合に如何なる結果を生ずるかを明かにせんために行つたものである。引張に於ては、両試験片共に熔着材の鋭角部に大なる應力を現してゐることは角大なるために不利なることを示す (第11表参照)。

曲げに於ては、X型並に盛肉側を圧縮側とした場合のV型には熔着材及び母材の鋭角部に影響なく1本の棒に曲げを加へたと殆ど同一である。然しV型の盛肉側を引張側とした場合には母材の鋭角部に相當大なる應力を生ずる。

本試験片の如く熔着材の角を大とすることは第21号片と共に、実際の熔接には鋭角の母材と良く熔合し、又肉盛の填充材量多きために数層に分ちて熔接する故下層部は上層部熔接の際熱を受けてなまされ、均質のものが得られて、繰返荷重への耐久性を増すものと考へらる。この点に就ては実際の熔接試験片を以て実験する考へてをる。

(12) 鎖用リンク、試験片第24号 A号 リンクとスタットと

一体、第 24B 号 スタットの 1 面及びリンク接合、第 25A 号 スタットの両端をリンクに接合、第 25B 号 スタットの両端及びリンク接合、第 26A 号 スタットなきもの、第 26B 号 スタットなくリンク接合せるもの。

鎖用リンク及びスタットを電気溶接によつて製作されるに到つた。著者は接合部 AB の生ぜしために應力の変化如何を見る目的にて先づ第 24A 号、25A 号、26A 号の 3 試験片を作り、AB 面の最大應力並に各面の應力を測定し、次に同一試験片の AB 面を出末可く薄き隙間となる様に切離して更に接合せしめたものが第 24B 号、第 25B 号、第 26B 号の 3 試験片である。これ等に前と同一の引張荷重を加へて、AB 面の最大應力並に各面の應力を測定し、両者の AB 面上の最大應力の比較を第 12 表に示す。而してリンクに生ずる最大應力はこの AB 点に非ずして EF 面の F 点に生じ、その強さの計算値（パーソン及びウィンクラーの曲梁理論に依る）との比較は第 13 表に示す。この 2 表を比較せば

第 12 表 AB 面上の最大應力 (kg/cm²) の比較

試験片	(A) 接合せざるもの	(B) 接合せるもの	比較 (A)/(B)
第 24 号	75	147	1'96
第 25 号	141	141	1'00
第 26 号	179	207	1'16

第 13 表 リンク中の應力の実測及び計算値の比較

試験片	力の種類	應力測定点	実測値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比較 (I)/(II)	参照図面
第 24 A 号	引張	F	302	290	1'04	第 102, 103 図
第 24 B 号	引張	F	302	290	1'04	第 104, 105, 106 図
第 25 A 号	引張	F	302	290	1'04	第 107, 108, 109 図
第 25 B 号	引張	F	302	290	1'04	第 110, 111, 112 図
第 26 A 号	引張	F	302	274'4	1'10	第 113, 114 図
第 26 B 号	引張	F	302	274'4	1'10	第 115, 116 図

但し計算値として F 点に於ての最大應力は第 24, 25 号片では -442 kg/cm² 第 26 号片では -532 kg/cm² である。

接合面 AB に生ずる最大應力は F 点の應力に比して約 2/3 なるを以て安全である。尙製作上多少の困難があるも應力の生ぜざる面に於て接合せば最も可である。

(13) 斜衝合接合に於てその傾角 α を変化しての実験、試験片第 27 号 $\alpha=90^\circ$ 、第 28 号 $\alpha=80^\circ$ 、第 29 号 $\alpha=70^\circ$ 、第 30 号 $\alpha=60^\circ$ 、第 31 号 $\alpha=55^\circ$ 、第 32 号 $\alpha=50^\circ$ 、第 33 号 $\alpha=45^\circ$ 。

傾角 α の変化に依る影響を知るために各試験片の接合面を完全に接合せしめ（先づ接合部をアセトンにて接合せしめた後正確に仕上を施した）た處、A, B, A', B' の各点には一本の棒としての應力となり、不連続性が現れなかつた。荷重大となり 60 kg 以上のとき初めて接合面 AB 及び A' B' 中の接合最も弱き所より切離せんとする傾向を示した。第 117 図に $\alpha=75^\circ$ の場合の曲げにおける主應力線を一例として示す。

第 14 表 厚の相異なる板の衝合接手における最大應力点の應力の比較

試験片	力の種類	應力測 定 点	実験値 (I) kg/cm ²	計算値 (II) kg/cm ²	比 較 (I)/(II)	参 照 図 面
第 34 号	(A) 引張	A	138	114'2	1'21	第 118, 119 図
		B	113	98'2	1'15	
		C	138	105'2	1'31	
		(D)	150	132'3	1'13	
	(B) 曲ひ	A	145	111'3	1'30	第 120, 121 図
		B	104	111'3	0'94	
		C	145	144'3	1'01	
		(D)	143	144'3	0'99	
第 35 号	(A) 引張	A	147	123'6	1'19	第 122, 123 図
		B	122	81'0	1'51	
		C	145	84'1	1'73	
		(D)	226	204'9	1'10	
	(B) 曲ひ	A	145	104'2	1'40	第 124, 125 図
		B	113	104'2	1'09	
		C	207	215'0	0'96	
		(D)	207	215'0	0'96	
第 36 号	(A) 引張	A	122	126'3	0'97	第 126, 127 図
		B	20	58'3	0'34	
		C	109	16'4	0'65	
		(D)	226	302'4	0'75	

但し計算値は各点における最大引張應力並に曲應力に相當する。

(14) 厚の相異なる板の衝合接手 試験片第 34~36 号

厚の相異なる板の衝合接手に於ての應力を測定せんため、各種厚のものを作り引張及び曲試験を行つた。

引張に於ては、接合部に常に多少の曲作用を受け厚の異なる程その作用大となり、最大應力は厚の急変する D 点に現れる。曲げに於ても最大應力は常に D 点に生じ、厚さの急変は避くべきことを示す（第 14 表参照）。第 36 号片の曲げ試験は薄板の方曲折して測定し得なかつた。

5. 結 論

以上は普通に行れてゐる溶接型式の代表的のものに就て光弾性学実験を行つた。各型式に於て注意すべき点を總括して見ると次の如くなる。

1. 不連続性の面は若し完全に接合されてゐる時は殆ど不連続性のない場合と同様であるべきなるが、一般には溶着の程度その他の原因に依つてその面の端に計算値よりも 50% 位強大なる應力が現れ易い。

2. 材料力学的に行つた計算結果に比較して実験結果が大体一致したものもあるが、時には後者の方前者に比し 60% 強く現れたものも相當にある。

3. V 及び X 型衝合接手の引張力を受くる場合に、曲モーメントを受け殊に鋭角部に於ては平均應力に比し 2'7 倍以上にも達した場合のあることは注意を要する。又増肉盛は應力分布の点から見ると左程有利とは思へない。

4. 隅肉溶着材の 45° の等辺直角三角形のものよりも 30° 及び 60° の直角三角形とせるものの方が有利と思はる。

5. 従来の鋸又はボルト接手の型式をそのまま利用してをる重ね板隅肉接手はなるべく避くべきである。

(附言) 本研究には内藤多伸教授の溶接接手の細部構造に関する研究の一部として日本學術振興會より研究費の補助を受けたる事を茲に厚く感謝する次第である。

第19圖 第5, A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 20 kg
平均應力 21 kg/cm²

第20圖 第5号片. B

第21圖 第5号片. B

第22圖 第5, B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 74 kg

第23圖 第5号片. C

第24圖 第5号片. C

第25圖 第5, C. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 74 kg

第26圖 第6号片. A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布
荷重 20 kg 平均應力 211 kg/cm²

第27圖 第6号片. B

第28圖 第6号片. B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 74 kg

第29圖 第6号片. C

第30圖 第6号片. C. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布
荷重 74 kg

第31圖 第7号片. A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布
荷重 20 kg 平均應力 21 kg/cm²

第32圖 第7号片. B

第33圖 第7, B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 74 kg

第34圖 第8号片. A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 平均應力 202 kg/cm²
荷重 15 kg

第35圖 第8号片. B

第36圖 第8号片. C. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 37 kg

第37圖 第8号片. B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 37 kg

第38圖 第8号片. C

昭和 11 年 8 月]

第76圖 第17号片, A, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 4 kg

第77圖 第17号片, B

第78圖 第17号片, B

第79圖 第17号片, B, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 4 kg

第80圖 第18号片

第81圖 第18号片, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 4 kg

第82圖 第19号片

第83圖 第19号片, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 15 kg

第84圖 第20号片, A

第85圖 第20号片, A, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 40 kg

第86圖 第20号片, B

第87圖 第20号片, B, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 37 kg

第88圖 第21号片, A

第89圖 第21号片, A, 母材 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 60 kg 第90圖 第21号片, A, 熔着部 應力 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 60 kg

第91圖 第21号片, B

第92圖 第21号片, B, 母材 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 10 kg 第93圖 第21号片, B, 熔着部 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 10 kg

昭和 11 年 8 月]

第94圖 第22号片. A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布

第95圖 第22号片. B

第96圖 第22号片. B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 925 kg 第97圖 第23号片 A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布
引張り荷重 60 kg

第98圖 第23号片. B

第99圖 第23号片. B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 925 kg

第100圖 第23号片. C

第101圖 第23号片 C. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布 荷重 925 kg

第102圖 第24号片. A

第103圖 第24号片. A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布
荷重 30 kg

第104圖 第24号片. B

第105圖 第24号片. B

第106圖 第24号片. B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布
荷重 30 kg

第107圖 第25号片. A

第108圖 第25号片. A

第109圖 第25号片. A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布

第110圖 第25号片. B

第111圖 第25号片. B

第112圖 第25号片. B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布
荷重 30 kg

第113圖 第26号片. A

第114圖 第26号片. A. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布

第115圖 第26号片. B

第116圖 第26号片. B. ($\sigma_1 - \sigma_2$) 分布

第117圖 第32, B

第118圖 第34号片, A, 引張9

第119圖 第34, A, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布

第120圖 第34, B

第121圖 第34, B, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 888 kg

第122圖 第35号片, A

第123圖 第35, A, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 60 kg

第124圖 第35, B

第125圖 第35, B, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 888 kg

第126圖 第36号片, A

第127圖 第36, A, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ 分布 荷重 50 kg

初期運動を考慮に入れた膜及び板の強制振動 (第2報)⁽¹⁾

(昭和 10 年 11 月 9 日 應用力学講演會に於て講演)

准 員 高 林 順 三⁽²⁾

摘 要

本文は、無限の廣さを有する膜に於て、攪乱の源が円周上にある場合の進行波に就て研究したものである。途中の計算は、曩の第1報⁽³⁾と同じく Cauchy の函数定理に依る複素平面上の積分方法を用ひて、極めて簡明にその不規則な初期運動を含んだ解を誘導した。それに依れば、著者は膜の運動方程式及び攪乱を興へる週期的外力に、何等エネルギー散逸の原因を考へなかつたにも拘らず、膜の任意点の垂直変位は進行性の定常波の外に、時間的に減衰項を自ら持つてゐるといふ、極めて興味深い結果が示されてゐる。この減衰項は積分の形で得られたもので、時間の著しい経過後でなければ解拆の方法に依つては、この特性を知る由がない。故にこの部分に対しては数値計算に訴へて、その有する物理的性質を具体的に説明した。

(1) The Forced Vibrations of Membranes and Plates, Taking Initial Motion of Them into Account. (2nd Report).

(2) Zyunzô TAKABAYASHI, Associate Member. The Ōsaka Imperial University. 大阪帝国大学 (3) 機械学会論文集 第2巻 第6号 11頁

昭和 11 年 8 月]

1. 運動方程式及び境界並びに最初條件

$r=a$ なる円周上に iAe^{ipt} の週期的外力が働くとして、

(4) 途中の計算の便宜上複素数の形で表したけれど、解としては実数部分のみを採る。